Bureau de la sécurité des transports du Canada
Transportation Safety Board of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE FERROVIAIRE R17T0164

Déraillement en voie principale

Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada
Train de marchandises M39731-18
Point milliaire 18,70, subdivision de Strathroy
Strathroy (Ontario)
19 juillet 2017

Canada

Bureau de la sécurité des transports du Canada
Place du Centre
200, promenade du Portage, 4e étage
Gatineau QC K1A 1K8
819-994-3741
1-800-387-3557
www.bst.gc.ca
communications@bst.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par
le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2018

Rapport d'enquête ferroviaire R17T0164

No de cat. TU3-6/17-0164F-PDF
ISBN 978-0-660-28003-5

Le présent rapport se trouve sur le site Web
du Bureau de la sécurité des transports du Canada
à l'adresse www.bst.gc.ca

This report is also available in English.

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

Rapport d'enquête ferroviaire R17T0164

Déraillement en voie principale
Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada
Train de marchandises M39731-18
Point milliaire 18,70, subdivision de Strathroy
Strathroy (Ontario)
19 juillet 2017

Résumé

Le 19 juillet 2017, vers 4 h 15, heure avancée de l'Est, le train de marchandises M39731-18 de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada circulait vers l'ouest sur la subdivision de Strathroy, lorsque 14 wagons ont déraillé dans la municipalité de Strathroy (Ontario). Les wagons qui ont déraillé, y compris 1 wagon-citerne qui contenait des résidus de gaz de pétrole liquéfié (UN1075), se sont immobilisés dans les environs du passage à niveau de la rue Metcalfe Ouest. Il n'y a eu ni blessure ni rejet de marchandises dangereuses.

This report is also available in English.

Table des matières

1.0 Renseignements de base 1

1.1 L'accident 1
1.2 Examen des lieux 2
1.2.1 Examen du 109e wagon – NAHX 35909 4
1.2.2 Examen de l'infrastructure de la voie 5
1.3 Conditions météorologiques 7
1.4 Consignateurs d'événements de locomotive 7
1.4.1 Exigences réglementaires relatives aux consignateurs d'événements de locomotive 8
1.4.2 Renseignements consignés 9
1.5 Renseignements sur la subdivision 10
1.6 Inspection de la voie 11
1.6.1 Inspections visuelles de la voie 11
1.6.2 Contrôles de détection des défauts de rail 11
1.6.3 Inspection par une voiture de contrôle de l'état géométrique de la voie 11
1.6.4 Usure du champignon de rail 12
1.7 Exigences réglementaires et sectorielles relatives aux wagons de marchandises 13
1.8 Wagon-trémie couvert NAHX 35909 15
1.8.1 Maintenance des wagons 16
1.8.2 Inspections autorisées des wagons 17
1.9 Soulèvement du patin stabilisateur 17
1.10 Forces en-train 18
1.11 Analyse de la dynamique voie-train 19
1.12 Rapports de laboratoire du BST 23

2.0 Analyse 24

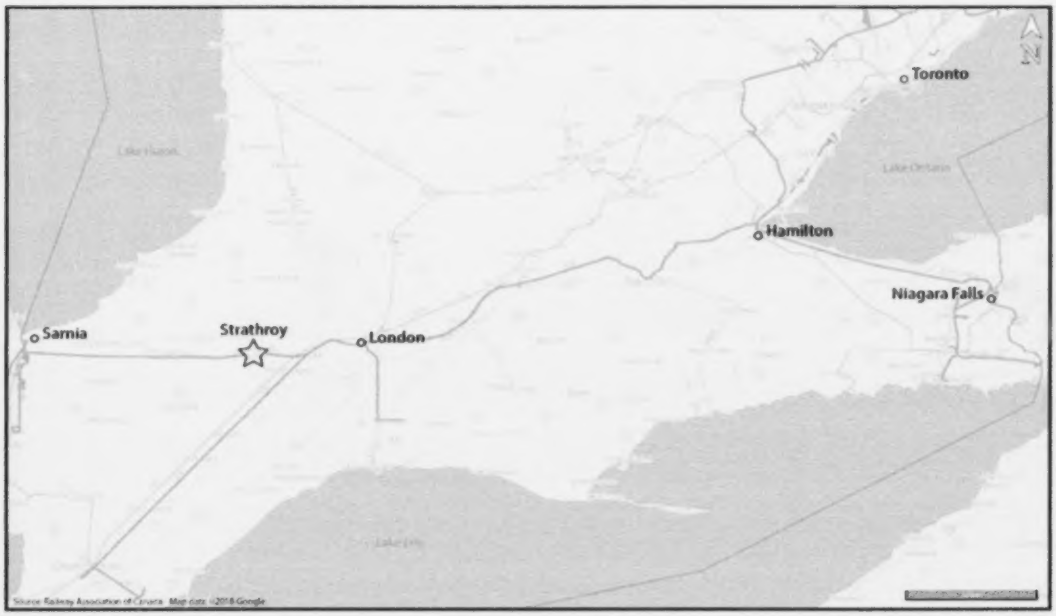
2.1 L'accident 24
2.2 État des wagons et de l'infrastructure de la voie 24
2.2.1 Wagon-trémie couvert NAHX 35909 25
2.2.2 Force de compression 25
2.2.3 Profils roue-rail 26
2.2.4 Infrastructure de la voie 26
2.3 Serrage d'urgence des freins à air 26
2.4 Éléments de donnée requis pour les consignateurs d'événements de locomotive 27
2.5 Soulèvement du patin stabilisateur 28
2.6 Dégagement des glissoirs 29
2.7 Liste de vérification de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada 29

3.0 Faits établis 31
3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs 31
3.2 Faits établis quant aux risques 32
3.3 Autres faits établis 32
4.0 Mesures de sécurité 33
4.1 Mesures de sécurité prises 33
4.1.1 Bureau de la sécurité des transports du Canada 33
4.1.2 Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada 33

1.0 *Renseignements de base*

Le 18 juillet 2017, vers 22 h[1], le train de marchandises M39731-18 vers l'ouest de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (CN) a quitté le triage MacMillan, à Vaughan (Ontario) (point milliaire 0,0 de la subdivision de Halton), à destination de Sarnia (Ontario) (figure 1). Le train comptait 2 locomotives de tête et 115 wagons (23 wagons chargés, 86 wagons vides et 6 wagons-citernes de résidus). En route, l'équipe de train s'est arrêtée à Beachville (Ontario) (point milliaire 57,94 de la subdivision de Dundas) pour ramasser 11 autres wagons chargés, et les a attelés derrière les locomotives. Après que l'équipe de train eut ramassé les wagons additionnels, le train comptait 126 wagons (34 wagons chargés, 86 wagons vides et 6 wagons-citernes de résidus). La rame pesait environ 8215 tonnes courtes et mesurait quelque 9700 pieds de long. L'équipe de train se composait d'un mécanicien de locomotive et d'un chef de train. Les membres de l'équipe connaissaient le territoire et étaient qualifiés pour leur poste respectif.

Figure 1. Lieu de l'accident (Source : Association des chemins de fer du Canada, Atlas des chemins de fer canadiens, avec annotations du BST)



1.1 *L'accident*

Le 19 juillet 2017, vers 4 h, le train approchait de Strathroy (Ontario). Après que les locomotives eurent traversé Strathroy, le mécanicien de locomotive a entendu une alarme de l'unité d'entrée et d'affichage (UEA), située dans la cabine de la locomotive. L'alarme sonne soit en cas de perte de pression dans la conduite générale à la queue du train, soit en cas d'interruption de la communication entre l'UEA et l'unité de détection et de freinage (UDF), située sur le wagon de queue du train. Croyant à une communication interrompue entre

---

[1] Les heures sont exprimées en heure avancée de l'Est.

l'UEA et l'UDF, le mécanicien de locomotive a tenté de rétablir la communication; c'est alors qu'il a constaté que la pression de la conduite générale de l'unité en queue de train était de 0 lb/po^2.

Quelques secondes plus tard, un détecteur de pièces traînantes (DED), situé au point milliaire 19,51, a transmis une alarme par radio à l'équipe de train pour indiquer que des pièces traînantes avaient été détectées, du 445^e au 450^e essieux du train. Cela représentait les 4 essieux du 109^e wagon et les 2 premiers essieux (avant) du 110^e wagon.

Le mécanicien de locomotive a effectué un arrêt dirigé au point milliaire 22,34 par un serrage gradué des freins à air[2].

1.2 Examen des lieux

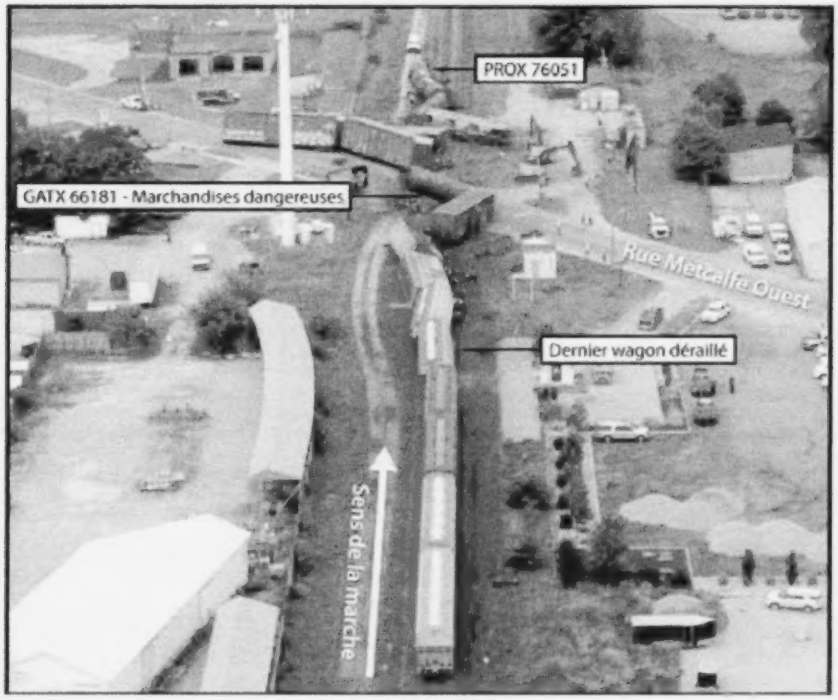
L'examen des lieux a permis d'établir que 14 wagons avaient quitté les rails (figure 2). Le 109^e wagon à partir de la tête du train, le wagon-trémie couvert NAHX 35909 (chargé de ciment) était orienté avec le bout A[3] vers l'avant. Il est demeuré attelé à la tête du train avec toutes ses roues sur les rails. Il s'est immobilisé à environ 2000 pieds à l'ouest du lieu du déraillement. Même si le wagon NAHX 35909 n'était pas déraillé au moment de l'examen, les tables de roulement de ses 8 roues étaient profondément égratignées et entaillées, marques d'un déraillement récent. Les tables de roulement des roues du wagon NAHX 35909 étaient les plus endommagées parmi tous les wagons déraillés.

---

2 Le serrage gradué est une procédure de freinage qui permet de réduire au minimum la compression du jeu d'attelage durant le freinage. Il consiste en un serrage initial de 6 à 7 lb/po^2 des freins à air, suivi d'une autre réduction jusqu'au serrage normal à fond des freins. Un serrage initial minimal active la fonction de serrage rapide du frein à air. Cela entraîne un serrage initial rapide et relativement uniforme des freins à air sur toute la longueur du train et contrôle la réaction d'attelage et la création de forces en-train excessives.

3 Les wagons ferroviaires ont un bout A et un bout B. Le frein à main est installé au bout B.

Figure 2. Lieu de l'accident (Source : Police provinciale de l'Ontario, avec annotations du BST)



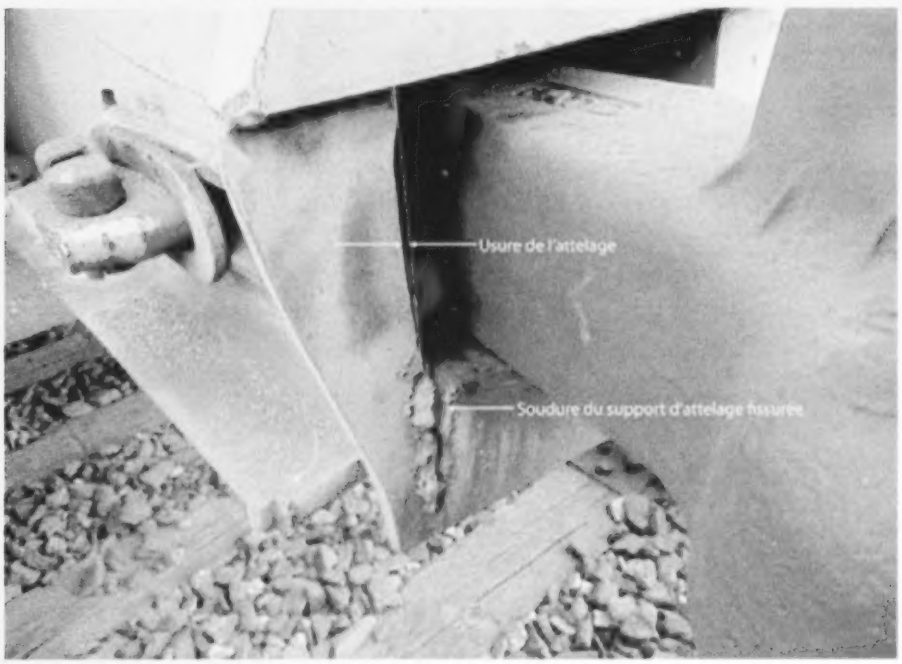
Les 13 wagons qui suivaient le wagon NAHX 35909 (les wagons 110 à 122) se sont immobilisés entre le quai de VIA Rail Canada Inc. (VIA Rail) (point milliaire 19,98) et environ 350 pieds à l'ouest du passage à niveau de la rue Metcalfe Ouest (point milliaire 20,04), au cœur de la municipalité de Strathroy. Les 109e et 112e wagons étaient chargés, mais tous les autres wagons déraillés étaient essentiellement vides.

Les wagons 110 (PROX 76051) à 112 se sont immobilisés au sud de la voie principale, de 200 à 350 pieds à l'ouest du passage à niveau de la rue Metcalfe Ouest. Ces 3 wagons-citernes sont demeurés attelés ensemble, renversés sur leur côté et parallèles à la voie. Le 113e wagon s'est immobilisé sur son côté en travers de la voie. Les wagons 114 à 118 se sont immobilisés dans diverses positions, sur le passage à niveau ou à côté de celui-ci, en diagonale par rapport à la structure de la voie. Le 117e wagon était le wagon-citerne contenant des résidus de marchandises dangereuses GATX 66181, à savoir du gaz de pétrole liquéfié (UN1075). Il s'est immobilisé sur son côté sur le passage à niveau de la rue Metcalfe Ouest. Les wagons 119 à 121 ont déraillé; ils gisaient en parallèle à la structure de la voie, inclinés à un angle de quelque 40°. Le 122e wagon a été le dernier à dérailler. Il est demeuré à la verticale avec le bogie du bout A déraillé. Il n'y a eu ni blessures ni rejet de marchandises dangereuses.

1.2.1 Examen du 109e wagon – NAHX 35909

Outre les dommages aux roues, l'examen sur place du wagon NAHX 35909 a révélé des fissures dans les soudures du support d'attelage du bout A. Le côté droit[4] du pylône de choc de l'attelage présentait une usure qui correspondait au profil d'un bras d'attelage (figure 3).

Figure 3. Côté droit du pylône de choc du bout A sur le wagon NAHX 35909



De plus, on a relevé sur la conduite générale, près de la roue R3[5], des marques de meulage/brûlure dues au frottement causé par les boudins de roue. La conduite générale a été partiellement sectionnée, ce qui a occasionné une fuite d'air. Les extrémités sectionnées présentaient des signes de dommages thermiques, et le métal fondu a réduit le diamètre de la conduite (figure 4 et figure 5).

---

4 On détermine les côtés gauche et droit d'un wagon en faisant face au bout B.

5 La lettre « R » signifie « right » (droite), donc les roues du côté droit du wagon; « L » signifie « left » (gauche). Le chiffre « 3 » signifie les roues du 3e essieu.

Figure 4. Marques de brûlure/meulage sur la conduite générale (encerclée) par suite du contact avec le boudin de la roue R3 (flèche) du wagon NAHX 35909

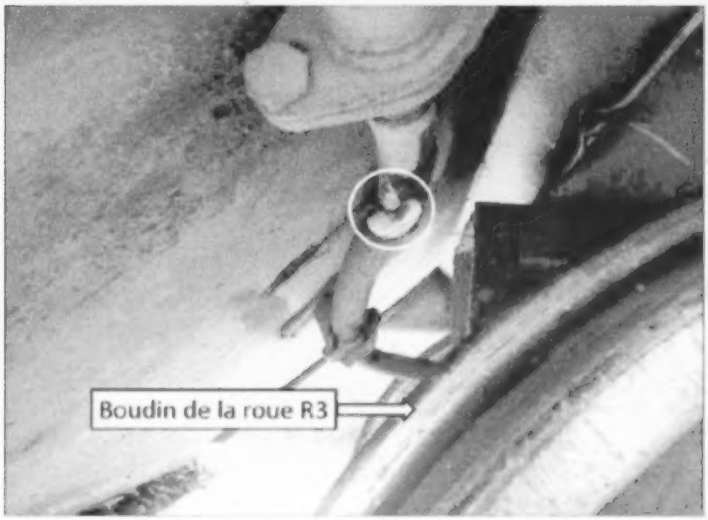


Figure 5. Gros plan des marques de brûlure/meulage sur la conduite générale

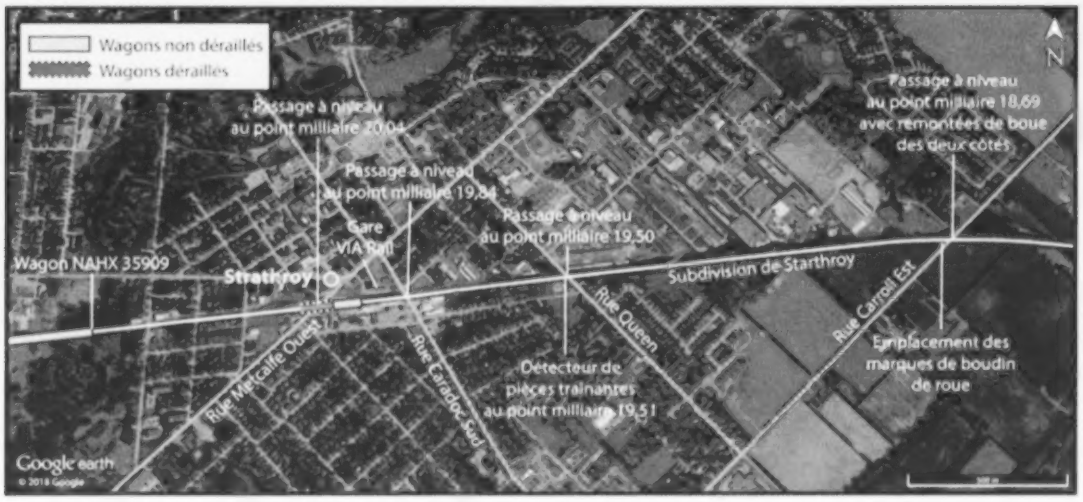
Le wagon NAHX 35909 et ses deux bogies ont été transportés au triage MacMillan du CN pour faire l'objet d'un examen détaillé.

1.2.2 Examen de l'infrastructure de la voie

On a noté une marque de boudin de roue sur la table de roulement du champignon du rail nord, à 75 pieds à l'ouest du passage à niveau de la rue Carroll Est, au point milliaire 18,69.

La marque laissée par le boudin de roue commençait du côté intérieur du rail et se poursuivait vers l'ouest en diagonale sur le champignon de rail sur une distance de quelque 25 pieds avant de passer du côté extérieur du rail. Depuis cet endroit, on a relevé des marques d'impact de roue sur le patin de rail, les selles, les traverses, les crampons et les anticheminants entre les traverses et sur le côté extérieur du rail nord. Ces marques se prolongeaient vers l'ouest jusqu'à l'endroit où les wagons se sont immobilisés, non loin du passage à niveau de la rue Metcalfe Ouest, au point milliaire 20,04 (figure 6).

Figure 6. Aperçu du lieu de l'accident (Source : Google Earth, avec annotations du BST)



Au passage à niveau de la rue Carroll Est, le ballast de part et d'autre du passage à niveau était contaminé par de la boue. À l'ouest, le ballast entre les rails et au sud du rail sud était contaminé par de la boue sur les premiers 30 pieds à partir du côté ouest du passage à niveau (figure 7). À l'est du passage à niveau, le ballast entre les rails et au sud du rail sud près du passage à niveau était lui aussi contaminé par de la boue (figure 8).

Figure 7. Vue vers l'est de la contamination par de la boue à l'ouest du passage à niveau de la rue Carroll Est

Figure 8. Vue vers l'ouest de la contamination par de la boue à l'est du passage à niveau de la rue Carroll Est

Un peu plus loin à l'ouest, le passage à niveau de la rue Queen (point milliaire 19,50) affichait des marques d'impact de roue sur sa surface en caoutchouc (figure 9). Les palettes d'un détecteur de pièces traînantes situé immédiatement à l'ouest du passage à niveau (point milliaire 19,51) affichaient 3 groupes de marques d'impact de roue (figure 10). Ces marques se poursuivaient dans le ballast et sur la structure de la voie entre les rails sur une distance d'environ un tiers de mille vers l'ouest, jusqu'au passage à niveau de la rue Caradoc Sud

(point milliaire 19,84). À ce passage à niveau, l'extrémité est de la surface bétonnée présentait des marques de boudin de roue environ 6 pouces au nord du rail nord, qui se poursuivaient jusqu'à l'extrémité ouest de la surface du passage à niveau, où les roues ont remonté sur les rails.

Figure 9. Surface en caoutchouc du passage à niveau de la rue Queen (point milliaire 19,50)

Figure 10. Marques d'impact de roue sur les palettes du détecteur de pièces traînantes (point milliaire 19,51)

Immédiatement à l'ouest du passage à niveau de la rue Caradoc Sud, on a relevé d'autres marques de roue du côté extérieur du rail nord. Ces marques se prolongeaient vers l'ouest jusqu'au point milliaire 19,98, où elles croisaient une plateforme asphaltée adjacente à la voie, à la gare VIA Rail. La plateforme a été lourdement endommagée, et la structure de la voie immédiatement à l'ouest de la plateforme de la gare et jusqu'au passage à niveau de la rue Metcalfe Ouest a été détruite. La voie à l'ouest de la rue Metcalfe Ouest a été lourdement endommagée sur une distance d'environ 350 pieds, où le premier wagon déraillé s'est immobilisé.

1.3 Conditions météorologiques

Les dossiers d'Environnement et Changement climatique Canada fournis par une station météorologique locale faisaient état de vents calmes et d'une température de 17 °C au moment de l'événement à l'étude.

Les précipitations mensuelles moyennes en avril, mai et juin sont respectivement de 85,7 mm, 77,2 mm et 71,3 mm, soit en moyenne 234,2 mm au total sur 3 mois. En 2017, les précipitations totales en avril, mai et juin ont atteint 340,6 mm, soit une hausse de 45 % par rapport à la moyenne. Quoique la quantité de précipitations pour cette région était au-dessus de la moyenne, la station météorologique n'avait enregistré aucune précipitation au cours des 5 jours qui ont précédé l'événement.

1.4 Consignateurs d'événements de locomotive

La locomotive de tête du train, la CN 5793, a été construite par General Motors Electro-Motive Division (EMD) en 1999. Il s'agit d'un modèle EMD SD-75I de 4300 hp

mesurant 73 pieds de long et pesant quelque 200 tonnes courtes. L'équipement d'origine comprenait un consignateur d'événements de locomotive (CEL) Datacord, modèle 5100, fabriqué par Q-Tron. Le CEL surveillait et enregistrait 27 voies de données, y compris l'heure, la distance, la vitesse, la pression dans la conduite générale, le serrage du frein d'urgence par le mécanicien de locomotive et la position du manipulateur. Or, ce CEL ne consigne pas la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train, et la réglementation ne l'exige pas. Les locomotives de cette époque, munies de CEL similaires, sont courantes dans le parc du CN et dans le secteur ferroviaire en général.

Des 1448 locomotives haute puissance de grande ligne du CN, environ 58 % (835) ne consignent pas la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train. Au contraire, toutes les locomotives de grande ligne construites après le 1er janvier 2007 et livrées après le 1er janvier 2008 doivent être munies d'un CEL qui surveille et consigne la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train.

1.4.1 Exigences réglementaires relatives aux consignateurs d'événements de locomotive

Le *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer* de Transports Canada (TC) prescrit les normes minimales de sécurité pour les locomotives. L'article 12 de la Partie II porte sur les exigences de conception relatives aux consignateurs d'événements et stipule que :

> Les locomotives de commande utilisées comme trains ou transferts sur une voie principale ou une voie de subdivision doivent être équipées d'un consignateur d'événements répondant aux caractéristiques minimales de conception ci-dessous. (Exception : les locomotives dédiées à un triage peuvent, sans être équipées d'un consignateur d'événements, se déplacer entre des triages sur une distance d'au plus 34 km (20 milles) et à une vitesse qui ne doit pas dépasser 25 km/h (15 mi/h).)[6]

L'alinéa 12e) indique 26 éléments de donnée que les CEL doivent consigner. Ceux-ci comprennent :

> x) perte de communication tête-queue ou queue-tête avec l'unité de queue de train (EOT);
>
> [...]
>
> xii) commande de freinage d'urgence à partir de l'EOT, freinage d'urgence;
>
> xiii) indication de panne de l'électrovalve de l'EOT;
>
> xiv) pression dans la conduite générale de l'EOT (dispositifs EOT et ECP)[7];

---

6 Transports Canada, *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer* (3 juillet 2015), partie II, section 12 : Consignateur d'événements, p. 14.

7 Ibid., p. 15.

L'article 12.1 porte sur la période de mise en œuvre et stipule que :

> a) Toutes les nouvelles locomotives construites avant le 1er janvier 2007 doivent être équipées d'un consignateur d'événements muni d'un mémoire à semi-conducteurs qui sauvegarde au minimum les éléments de donnée suivants :
> - heure,
> - distance,
> - vitesse,
> - pression dans la conduite générale,
> - position de manipulateur,
> - freinage d'urgence,
> - pression dans le cylindres de frein direct,
> - signal de l'avertisseur et, le cas échéant, dispositif de veille automatique.
>
> b) Toutes les nouvelles locomotives construites après le 1er janvier 2007 et livrées après le 1er janvier 2008 doivent être équipées d'un consignateur d'événements conçu avec un module mémoire certifié résistant à l'impact qui sauvegarde les éléments de donnée indiqués à l'alinéa [12e)][8].

Chaque compagnie de chemin de fer qui commande de nouvelles locomotives doit préciser le type de CEL dont celles-ci doivent être munies et les éléments de données à consigner. Même si les compagnies de chemin de fer sont tenues de consigner au minimum les éléments de donnée indiqués dans le *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer*, elles ne sont pas limitées par ce règlement et peuvent stipuler la consignation d'éléments additionnels. Par exemple, le Chemin de fer Canadien Pacifique exige que la plupart de ses locomotives de grande ligne consignent la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train. Pour sa part, avant 2007, le CN exigeait que ses CEL ne consignent que les 8 éléments de donnée stipulés par le *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer* en vigueur à l'époque.

1.4.2 Renseignements consignés

Un examen des données extraites du CEL de la locomotive CN 5793 a révélé qu'au moment où la tête du train traversait Strathroy (points milliaires 18,69 à 20,39), le train accélérait, d'environ 51 mi/h à 57 mi/h sur la quasi-totalité de cette distance. Entre les points milliaires 20,10 et 21,06, la vitesse du train était constante à 57 mi/h. Passé le point milliaire 21,06, elle a commencé à diminuer. Le long de ce segment de voie, le mécanicien de locomotive se servait du manipulateur pour conduire le train et le déplaçait entre les crans 3 et 8. La pression dans la conduite générale était stable à 88 lb/po^2 dans la locomotive de tête. Lorsque la locomotive de tête a atteint le point milliaire 20,10, le 109e wagon se trouvait au point milliaire 18,48.

---

[8] Ibid., section 12.1 : Période de mise en œuvre, p. 16. Remarque : La version originale de l'alinéa 12.1b) renvoie erronément à « l'alinéa 12.1a ».

Le tableau 1 ci-dessous contient l'information consignée par le CEL.

Tableau 1. Informations enregistrées par le consignateur d'événements de locomotive

Point milliaire (PM)	Heure	Vitesse	Commentaires
PM 21,05 au PM 21,06	4 h 12 min 51 s à 4 h 12 min 52 s	57 mi/h à 54 mi/h à 57 mi/h	Une réduction de vitesse de 3 mi/h suivie d'une augmentation de vitesse de 3 mi/h. Pression dans la conduite générale de 88 lb/po^2.
PM 21,41	4 h 13 min 14 s	56 mi/h	Début du serrage gradué des freins à air et réduction de la pression dans la conduite générale, de 88 lb/po^2 à 86 lb/po^2.
PM 21,55	4 h 13 min 23 s	54 mi/h	Fin du premier serrage gradué des freins à air; pression dans la conduite générale de 82 lb/po^2.
PM 21,72	4 h 13 min 35 s	50 mi/h	Début du serrage normal des freins à air; pression dans la conduite générale de 80 lb/po^2.
PM 22,30	4 h 14 min 34 s	17 mi/h	Fin du serrage normal des freins à air; pression dans la conduite générale de 71 lb/po^2.
PM 22,34	4 h 14 min 52 s	0 mi/h	Immobilisation du train; pression dans la conduite générale de 71 lb/po^2.
PM 22,34	4 h 16 min 39 s	0 mi/h	Pression dans la conduite générale de 87 lb/po^2.
PM 22,34	4 h 20 min 1 s	0 mi/h	Pression dans la conduite générale de 56 lb/po^2.

Il n'y a eu aucun freinage d'urgence durant cette séquence. Le train a été conduit conformément aux exigences de la compagnie et de la réglementation.

1.5 Renseignements sur la subdivision

La subdivision de Strathroy consiste en une voie principale simple qui s'étend du point milliaire 0,0, à London (Ontario) au point milliaire 61,7, à Port Huron, Michigan (États-Unis). Les mouvements de train sont régis par le système de commande centralisée de la circulation comme l'autorise le *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*, et sont supervisés par un contrôleur de la circulation ferroviaire en poste à Toronto (Ontario). Environ 14 trains de marchandises et 10 trains de voyageurs circulent chaque jour dans cette subdivision. Le tonnage annuel sur la subdivision s'élève à quelque 49 millions de tonnes courtes brutes.

Dans les environs de l'événement à l'étude, la subdivision de Strathroy appartient à la catégorie 4, selon le *Règlement concernant la sécurité de la voie* (aussi appelé Règlement sur la sécurité de la voie [RSV]) approuvé par TC. La vitesse autorisée est de 60 mi/h pour les trains de marchandises et de 80 mi/h pour les trains de voyageurs. La voie est généralement orientée dans l'axe est-ouest et descend vers l'ouest, du point milliaire 16,0 au point

milliaire 20,48, selon une pente d'au plus 0,41 %. Du point milliaire 20,48 au point milliaire 22,70, la voie monte selon une pente d'au plus 0,31 %.

L'infrastructure de la voie consiste en longs rails soudés de 132 livres et 136 livres à profil RE, posés sur des selles à double épaulement. Chaque selle est fixée à sa traverse par 3 crampons. Une traverse sur 2 est encadrée d'anticheminants. Le ballast est fait de roche concassée. Les cases étaient garnies, et les épaulements dépassaient d'au moins 12 pouces le bout des traverses.

Le passage à niveau de la rue Carroll Est se trouve dans une pleine courbe de 3145 pieds de long et 0,51° vers la gauche[9] qui s'étend du point milliaire 18,43 au point milliaire 18,98. Cette partie de la courbe présente un dévers constant de 3,23 pouces.

1.6 *Inspection de la voie*

Le RSV prescrit les exigences minimales concernant la fréquence des inspections de la voie et les méthodes à suivre pour repérer les dérogations au règlement. Le cas échéant, des mesures correctives doivent être prises immédiatement.

1.6.1 Inspections visuelles de la voie

Selon le RSV, les voies de catégorie 4 dont le trafic annuel est supérieur à 15 millions de tonnes courtes brutes doivent être inspectées au minimum 2 fois par semaine, ce que faisait le CN dans la subdivision de Strathroy. La plus récente inspection avait eu lieu le 16 juillet 2017, et aucune défectuosité n'avait été relevée dans les environs du point milliaire 18,70.

1.6.2 Contrôles de détection des défauts de rail

Selon le RSV, il faut inspecter les longs rails soudés des voies de catégorie 4 au trafic annuel d'au moins 35 millions de tonnes courtes brutes au minimum 4 fois par année pour détecter les défauts internes. Le CN inspectait la subdivision de Strathroy par auscultations par ultrasons environ 12 fois par année. Le dernier contrôle de cette subdivision remontait au 13 juin 2017. Aucun défaut n'avait été relevé dans les environs du point milliaire 18,70.

1.6.3 Inspection par une voiture de contrôle de l'état géométrique de la voie

Selon le RSV, les voies de catégorie 4 au trafic annuel d'au moins 35 millions de tonnes courtes brutes doivent faire l'objet de contrôles électroniques de la géométrie par un véhicule lourd de contrôle de l'état géométrique[10] au moins 2 fois par année. Le CN dépassait ces exigences et avait effectué 5 contrôles par un véhicule lourd en 2016, et 4 en 2017 (y compris après l'événement à l'étude). Le dernier contrôle de l'état géométrique de la voie avant

---

[9] La valeur de 0,51° a été mesurée lors du dernier contrôle de l'état géométrique réalisé par le CN avant l'événement à l'étude.

[10] Un véhicule lourd de contrôle de l'état géométrique doit avoir une charge de roue verticale d'au moins 10 000 livres.

l'événement à l'étude (19 juillet 2017) avait eu lieu le 12 avril 2017. Aucun défaut de géométrie prioritaire ou urgent n'avait été relevé dans les environs du point milliaire 18,70.

Toutefois, un examen du graphique de l'évaluation du 12 avril 2017 a révélé une mesure Surface 62[11] de −0,79 pouce sur le rail sud, juste à l'est du passage à niveau de la rue Carroll Est, et une mesure de −0,47 pouce juste à l'ouest du même endroit. Ni l'un ni l'autre de ces états n'a été considéré comme une défectuosité nécessitant une mesure corrective ou une surveillance, d'après le RSV[12] ou les Normes de la voie – Ingénierie (NV)[13] du CN.

Une mesure Warp 62[14] de 0,984 pouce avait été enregistrée au point milliaire 18,69, mesure inférieure au seuil exigeant une mesure corrective ou une surveillance, selon le RSV[15] et les NV[16]. Les remontées de boue peuvent entraîner le gauchissement de la voie. Un gauchissement suffisamment grave augmente le risque de chevauchement du rail ou d'un soulèvement de roue.

1.6.4 Usure du champignon de rail

Selon le RSV, chaque compagnie de chemin de fer doit avoir des exigences écrites qui établissent les limites d'usure des rails. Le paragraphe 23 de l'article 1.0 des NV du CN stipule que :

- L'usure verticale maximale permise est de 16 mm pour un rail de 132 livres, et de 20 mm pour un rail de 136 livres.
- L'usure maximale permise de la face intérieure de rails de 132 livres et de 136 livres est de 16 mm.

Le véhicule lourd de contrôle de l'état géométrique a enregistré la désignation du rail et l'usure aux points milliaires 18,616 et 18,70. Au point milliaire 18,616, le rail nord était un rail de 132 livres à profil RE qui présentait une usure verticale de 11,89 mm et une usure de la face intérieure de 7,28 mm. Le rail sud était un rail de 136 livres à profil RE qui présentait une usure verticale de 4,22 mm et une usure de la face intérieure de 0,06 mm.

---

11 Une mesure Surface 62 (S62) est une mesure de la flèche au milieu d'une corde de 62 pieds, entre la corde et la hauteur du rail.

12 Pour les voies de catégorie 4, l'écart de la flèche par rapport au profil uniforme sur une corde de 62 pieds ne peut-être, sur l'un ou l'autre rail, supérieur à 2 pouces.

13 Pour les voies de catégorie 4, tout écart supérieur à 1 pouce est considéré comme un défaut prioritaire qui doit faire l'objet d'une surveillance. Tout écart supérieur à 2 pouces est considéré comme un défaut urgent qui exige une attention immédiate.

14 Une mesure Warp 62 représente l'écart de nivellement transversal qu'on mesure entre 2 points situés à moins de 62 pieds l'un de l'autre dans une voie en alignement droit, une courbe ou une courbe de raccordement.

15 Pour les voies de catégorie 4, l'écart de nivellement transversal entre 2 points situés à moins de 62 pieds l'un de l'autre ne doit pas dépasser 1 ¾ de pouce.

16 Pour les voies de catégorie 4, tout écart supérieur à 1 ⅜ de pouce est considéré comme un défaut prioritaire qui doit faire l'objet d'une surveillance. Tout écart supérieur à 1 ¾ de pouce est considéré comme un défaut urgent qui exige une attention immédiate.

Au point milliaire 18,70, les 2 rails étaient des rails de 132 livres à profil RE. Le rail nord présentait une usure verticale de 2,67 mm et une usure de la face intérieure de 0,24 mm. Le rail sud présentait une usure verticale de 4,35 mm et une usure de la face intérieure de 0,25 mm.

L'usure du champignon de rail était inférieure aux exigences indiquées dans les NV du CN.

1.7 Exigences réglementaires et sectorielles relatives aux wagons de marchandises

L'Association of American Railroads (AAR) publie le *Field Manual of the AAR Interchange Rules* (AAR Interchange Rules) [règles d'échange du Field Manual de l'AAR], document qui fournit une base équitable pour facturer les travaux de réparation de wagons à leurs propriétaires. Ce manuel indique les limites de réforme détaillées qui s'appliquent à toutes les pièces de wagon et à tous les états, y compris le soulèvement des patins, le dégagement des glissoirs et la hauteur d'attelage. Des réparations s'imposent dès que ces limites sont atteintes ou dépassées.

La règle 16 de l'édition 2017 de ce manuel stipule que [traduction] :

> 12. Hauteurs d'attelage obligatoires
>
> a. Wagons vides – minimum 32 ½ pouces, maximum 35 pouces[17]

La règle 46 stipule que [traduction] :

> 2. Limite de réforme lorsqu'un wagon se trouve sur une voie d'atelier ou de réparation pour une raison quelconque
>
> a. Hauteur de soulèvement du patin stabilisateur (patin) mesurée au moyen d'une méthode approuvée qui dépasse les limites indiquées aux figures A-1, A-2, A-3, B-1, C-1 et D-1 ou les recommandations du fabricant[18].

D'après la règle 46, figure A-1, pour les bogies de 70 et 100 tonnes courtes avec contrôle du roulement, la limite de hauteur de soulèvement du patin stabilisateur est de 1 $^{13}/_{16}$ de pouce. Tout soulèvement du patin stabilisateur dépassant 1 $^{13}/_{16}$ de pouce constitue une limite de réforme.

La règle 62 stipule que [traduction] :

> 1. Limite de réforme en tout temps
>
> h. Glissoirs à galets ou à bloc au dégagement inférieur à $^{3}/_{16}$ de pouce ou supérieur à $^{5}/_{16}$ de pouce[19].

---

17 Association of American Railroads (AAR), *Field Manual of the AAR Interchange Rules* (2017), règle 16: Couplers, Type E and Parts.

18 Ibid., règle 46 : Truck System Performance.

19 Ibid., règle 62 : Truck Side Bearings.

Le *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises* de TC prescrit les normes minimales de sécurité pour les wagons. La Partie II porte sur les défectuosités relatives à la sécurité qui, lorsqu'elles sont présentes, interdisent la mise ou le maintien en service d'un wagon par une compagnie ferroviaire. La section 13 de la Partie II porte sur les bogies et stipule que :

> 13.1 Les compagnies ferroviaires ne doivent pas mettre ni maintenir en service un wagon quand :
>
> [...]
>
> b) la suspension d'un bogie est inopérante, selon les indications suivantes :
>
> i. plaque d'usure de colonne manquante (sauf par construction), ou rompue au point de ne plus remplir sa fonction;
>
> ii. ressort latéral actionneur rompu ou manquant;
>
> iii. ressorts ou amortisseurs à friction hydrauliques ne maintenant ni leur course ni leur charge;
>
> iv. amortisseurs hydrauliques présentant une accumulation de fluide humide et dont le fluide n'est pas visible dans le verre indicateur, s'il y en a un;
>
> v. ressorts affaissés;
>
> vi. rupture, déplacement ou absence de plus d'un ressort extérieur dans un bloc-ressorts; ou
>
> vii. patin stabilisateur manquant, rompu au point de ne plus remplir sa fonction ou usé au-delà de l'indicateur d'usure;
>
> c) les glissoirs de bogie présentent un des problèmes suivants :
>
> [...]
>
> iv. à une extrémité du wagon, dégagent la traverse pivot par un intervalle total de plus de ¾ de pouce (19,05 mm); ou
>
> v. aux extrémités diagonalement opposées du wagon, dégagent la traverse pivot par un intervalle total de plus de ¾ de pouce (19,05 mm) [...][20].

La section 15 de la Partie II porte sur les attelages et stipule que :

> 15.1 Les compagnies ferroviaires ne doivent pas mettre ni maintenir en service un wagon présentant une des anomalies suivantes :
>
> [...]
>
> i) la hauteur des attelages de deux wagons adjacents varie de plus de 4 pouces (101,6 mm)[21].

---

[20] Transports Canada, *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises* (9 décembre 2014), partie II : Défectuosités relatives à la sécurité, section 13.1, p. 12.

[21] Ibid., section 15, p. 15.

Le *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises* ne prescrit aucune limite mesurée de soulèvement des patins stabilisateurs. Ce règlement ne prescrit non plus aucune limite de dégagement des glissoirs pour les positions individuelles des glissoirs, mais porte plutôt sur la somme à l'un des bouts d'un wagon et la somme aux côtés diagonalement opposés du même wagon.

1.8 Wagon-trémie couvert NAHX 35909

Le wagon NAHX 35909 a été construit en août 1978. Les bogies, équipement d'origine, étaient du type ASF de 100 tonnes courtes avec contrôle du roulement; ils comprenaient des roulements à rouleaux de 6 ½ × 12, des roues de 36 pouces, des glissoirs à bloc en acier comportant des brèches, des ressorts principaux D5, et des patins stabilisateurs avec des ressorts de commande intérieurs et extérieurs 3091 et 3092, respectivement. Ce wagon mesurait 41 pieds 11 pouces de long, l'entr'axe des bogies mesurait 26 pieds 3 pouces, et la distance entre les roues avant et arrière était d'environ 32 pieds.

Les deux extrémités du wagon étaient munies d'attelages de type E60 et de mâchoires d'attelage de type E50. À dessein, la limite nominale d'angle de balancement d'un attelage de type E60 est d'environ 7°[22].

Une inspection détaillée du wagon NAHX 35909 a eu lieu le 15 août 2017. On a branché les raccords de la conduite générale aux bouts A et B à une source d'alimentation en air. Dans chaque cas, l'air s'est écoulé dans la conduite générale partiellement sectionnée et a fui par l'entaille dans la conduite au bogie du bout A. On a retiré les 2 bogies du wagon NAHX 35909 pour les démonter et les examiner. Le tableau 2 ci-dessous contient des mesures critiques consignées durant le démontage. Un astérisque indique les mesures qui sont égales ou supérieures aux limites stipulées.

Tableau 2. Mesures du bogie au démontage

État	Mesures	Critères de maintenance AAR	Critères du *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*
Soulèvement du patin stabilisateur	Bogie du bout A : • L3 : 1 $^{13}/_{16}$ de pouce* • L4 : 1 $^{5}/_{16}$ de pouce • R3 : 1 $^{5}/_{8}$ de pouce • R4 : 1 ½ pouce Bogie du bout B : • L1 : 1 $^{5}/_{8}$ de pouce • L2 : 1 ½ pouce • R1 : 1 ½ pouce • R2 : 1 $^{5}/_{8}$ de pouce	Tout soulèvement du patin stabilisateur dépassant 1 $^{13}/_{16}$ de pouce constitue une limite de réforme.	Les compagnies ferroviaires ne doivent pas mettre ni maintenir en service un wagon quand la suspension d'un bogie est inopérante, comme l'indique un patin stabilisateur manquant, rompu au point de ne plus remplir sa fonction ou usé au-delà de l'indicateur d'usure [sous-alinéa 13.1b)(vii)].

[22] Association of American Railroads, *Manual of Standards and Recommended Practices*, Section C-II, section 2.1.4.4, p. 23.

État	Mesures	Critères de maintenance AAR	Critères du *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*
Dégagement des glissoirs	Bogie du bout A : • Gauche : 3/16 de pouce • Droit : 11/32 de pouce* Bogie du bout B : • Gauche : ¼ de pouce • Droit : 7/16 de pouce*	• Minimum : 3/16 de pouce • Maximum : 5/16 de pouce	Les compagnies ferroviaires ne doivent pas mettre ni maintenir en service un wagon quand les glissoirs de bogie, à une extrémité du wagon, dégagent la traverse pivot par un intervalle total de plus de ¾ de pouce (19,05 mm) [sous-alinéa 13.1c)(iv)]. Les compagnies ferroviaires ne doivent pas mettre ni maintenir en service un wagon quand les glissoirs de bogie, aux extrémités diagonalement opposées du wagon, dégagent la traverse pivot par un intervalle total de plus de ¾ de pouce (19,05 mm) [sous-alinéa 13.1c)(v)].
Hauteur d'attelage (wagon vide)**	Bogie du bout A : • 31 7/8 de pouces* Bogie du bout B : • 32 pouces*	Wagons vides : • Minimum : 32 ½ pouces • Maximum : 35 pouces	Les compagnies ferroviaires ne doivent pas mettre ni maintenir en service un wagon si la hauteur des attelages de deux wagons adjacents varie de plus de 4 pouces (101,6 mm) [alinéa 15.1i)].

* Cette mesure est égale ou supérieure à la limite stipulée.

** L'inspection des supports d'attelage aux deux bouts du wagon a révélé l'absence de plaques d'usure/cales d'épaisseur du support d'attelage.

1.8.1 Maintenance des wagons

Les règles d'échange [Interchange Rules] de l'AAR comprennent de nombreuses règles concernant la maintenance et l'entretien de wagons que les compagnies de chemin de fer s'échangent entre elles. Le CN répare les wagons conformément aux règles d'échange de l'AAR. Pour aider les inspecteurs en mécanique lorsqu'ils effectuent des inspections selon ces règles, le CN a dressé une liste de vérification intitulée « DYC (Did You Check) Requirements » qui énumère les principaux composants et les principales structures des wagons à inspecter. Aucune mesure n'est consignée, mais les inspecteurs en mécanique doivent apposer leurs initiales à côté de chaque élément de la liste pour indiquer qu'ils l'ont bien vérifié.

La liste de vérification « DYC Requirements » sépare les éléments en différents groupes – ceux qui doivent être inspectés lorsqu'un wagon se trouve sur une voie d'atelier ou de réparation, sur une voie de changement de roue, sur des voies de réparation rapide et de grande ligne ou du réseau, et sur les chemins de roulement intermodaux et voies de triage. L'inspection des dégagements de glissoirs doit être faite lorsque les wagons se trouvent sur

les voies d'atelier et de réparation. La liste de vérifications ne comprend pas le soulèvement des patins stabilisateurs.

Le 6 avril 2017, le wagon NAHX 35909 a été envoyé à la voie de réparation du triage MacMillan du CN pour subir des réparations au bout A. On a remplacé la goupille et le verrou de la clavette d'attelage; le sabot était fissuré, l'appareil de traction et la plaque d'appui étaient rompus, et ces 3 composants ont été remplacés. Ces travaux comprenaient également le retrait et le remplacement de la plaque d'appui de l'appareil de traction. Les dossiers ne contenaient aucune mention d'une faible hauteur d'attelage à l'un ou l'autre des bouts du wagon. On a rempli une liste de vérification « DYC Requirements » pour ce wagon et indiqué que les glissoirs avaient été vérifiés.

1.8.2 Inspections autorisées des wagons

Le CN inspecte les wagons ferroviaires selon les normes du *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*. Le cours « Car Inspection Train Yard » que donne le CN apprend aux inspecteurs en mécanique les procédures d'inspection appropriées pour les wagons ferroviaires. L'instruction sur l'inspection des bogies leur apprend à inspecter les patins stabilisateurs et les plaques d'usure. Les patins stabilisateurs ne doivent pas être brisés ni manquants ni usés au-delà de l'indicateur d'usure. Les plaques d'usure de la colonne du longeron du bogie, contre lesquelles s'appuient les patins stabilisateurs, ne doivent être ni manquantes ni brisées.

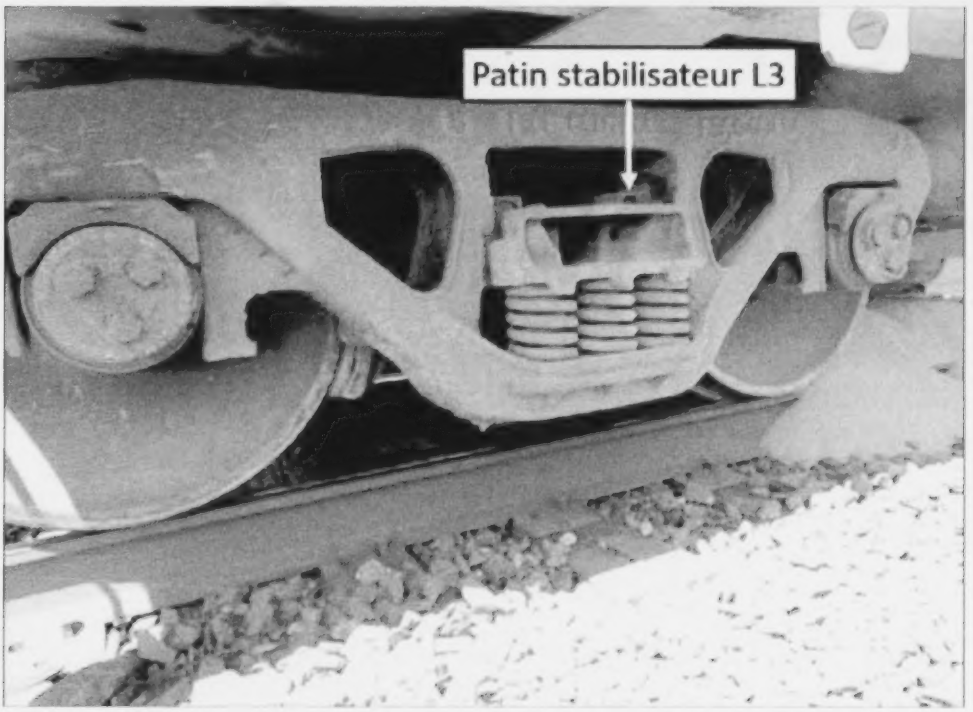
Du 10 avril 2017 au 18 juillet 2017, le wagon NAHX 35909 a fait l'objet de 12 inspections autorisées de wagon, dont 6 ont été réalisées au triage MacMillan. Aucune anomalie n'a été relevée.

1.9 Soulèvement du patin stabilisateur

La face verticale du patin stabilisateur, la face verticale de la colonne de traverse danseuse et la face inclinée des frottoirs de traverse pivot assurent de concert la stabilité du bogie du wagon. Lorsque l'usure des surfaces de contact de l'un ou l'autre de ces composants atteint la limite de réforme, il se produit une perte dans l'alignement ou la suspension du bogie. Une telle perte peut réduire la capacité du bogie d'absorber ou d'amortir des états de profil de la voie et, dans certaines conditions, entraîner un chevauchement ou un soulèvement de roue.

Le soulèvement du patin stabilisateur est de $^{15}/_{16}$ de pouce pour les bogies de type ASF avec contrôle du roulement à l'état neuf. Selon la règle 46 des règles d'échange de l'AAR, un soulèvement des patins supérieur à $1\ ^{13}/_{16}$ de pouce sur un bogie avec contrôle du roulement constitue une limite de réforme lorsque le wagon se trouve sur une voie de réparation. Même si l'usure d'un patin stabilisateur ou d'un frottoir de traverse pivot individuel, ou encore d'une colonne de traverse danseuse individuelle, peut ne pas constituer une limite de réforme, l'usure totale de ces 3 composants dans 1 endroit pourrait entraîner un soulèvement des patins, qui lui, constitue une limite de réforme. On considère le soulèvement des patins stabilisateurs comme une indication qu'un bogie perd de sa stabilité et que son état pourrait se dégrader (figure 11).

Figure 11. Bout A du wagon NAHX 35909 montrant le soulèvement du patin stabilisateur L3



1.10 Forces en-train

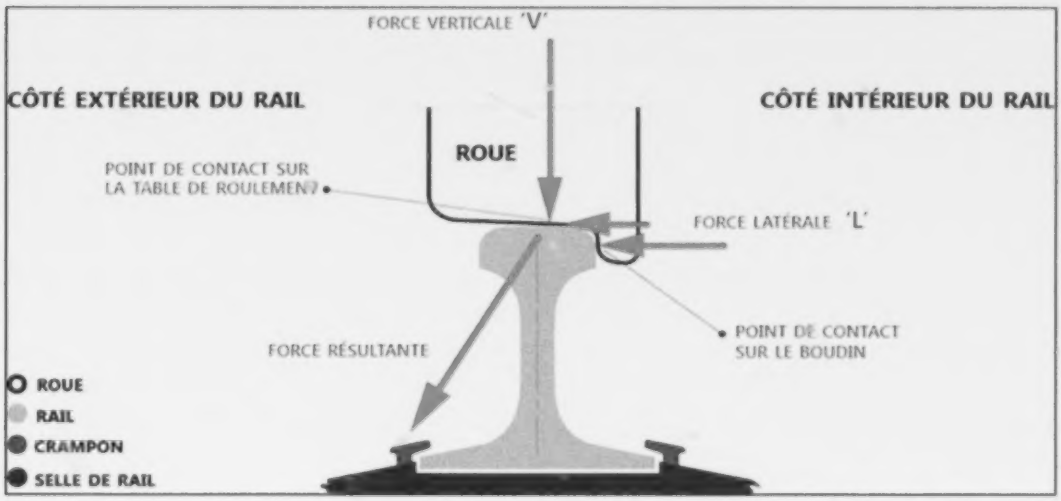
Les forces longitudinales exercées dans le train sont transmises dans le train entre les pivots des attelages. Un train qui est tracté sur une voie en alignement droit subit généralement des efforts de traction (c.-à-d., des forces agissant dans l'axe de la voie). Lorsqu'un train circule sur une voie en courbe, les forces longitudinales de compression (qui poussent) ou de traction (qui tirent) ainsi que les angles d'attelage connexes engendrent des forces latérales au niveau de la crapaudine et des boudins de roue du wagon. Généralement dans le secteur, on considère que la limite supérieure sécuritaire de la force de compression ou de traction en-train instantanée s'établit à 100 000 livres.

L'intensité des forces latérales s'exerçant sur les rails varie selon l'ampleur de la force longitudinale, l'angle des attelages, la déclivité et le degré de courbure de la voie. Lorsqu'un train est en force de compression dans une courbe, l'angle de balancement d'un attelage peut atteindre son maximum; les bras d'attelage poussent alors contre le côté du pylône de choc, fixé à l'extrémité de la longrine centrale du wagon. La force de compression engendre des forces longitudinales qui se transforment en force latérale aux crapaudines du véhicule, pour être ensuite transmise aux boudins de roue sur le rail haut d'une courbe.

Une combinaison de forces latérales (L) et verticales (V) est présente à l'interface entre le boudin de roue et le champignon de rail (figure 12). Le rapport entre les forces latérales et verticales (L/V) fournit une indication de la probabilité de déraillement. La probabilité d'un déraillement augmente à mesure que s'accroît le rapport L/V. Les rapports L/V les plus élevés se produisent habituellement à la suite d'une réduction soudaine de la charge

verticale ou d'une augmentation soudaine de la charge latérale. Une force latérale élevée jumelée à une faible force verticale tendra à soulever les boudins de roues par-dessus la face intérieure du rail et sur le champignon de rail (chevauchement). Il est reconnu qu'un rapport L/V de roue de 0,80 à 0,90 et de durée suffisante[23] peut produire un chevauchement[24,25].

Figure 12. Forces latérales et verticales entre la roue et le rail (Source : Association of American Railroads, avec annotations du BST)



1.11 Analyse de la dynamique voie-train

Le laboratoire du BST a effectué une simulation de la dynamique du train au moyen du logiciel Train Energy and Dynamics Simulator (TEDS) en combinaison avec une simulation tridimensionnelle de la dynamique voie-véhicule réalisée au moyen du logiciel Vehicle Analysis Modeling Package in the Railway Environment (VAMPIRE).

La simulation TEDS a examiné la vitesse longitudinale, l'accélération, les forces en-train, la distance d'arrêt, etc. Elle a révélé que le bout A du 109e wagon avait subi une force de compression assez modeste de 40 kips[26] juste à l'ouest du passage à niveau de la rue Carroll Est. Même si cette force calculée se situe dans les limites des forces de compression en-train normales, elle peut néanmoins poser problème si elle s'inscrit dans une combinaison donnée d'états multiples.

---

23 « Durée suffisante » signifie tout laps de plus de 0,05 seconde (50 millisecondes), définition que l'AAR a également adoptée pour les essais de certification de nouveaux wagons (Chapter XI).

24 Association of American Railroads, Research Reference R-185, Track Train Dynamics Report, *TTD Guidelines for Optimum Train Handling, Train Makeup and Track Considerations*, Section 4, Item 4.7.1, L/V Ratio, novembre 1979.

25 W. W. Hay, *Railroad Engineering*, Second Edition (June 1982), Track-Train Dynamics, Section 4, L/V Ratios, p. 658.

26 Quarante kips égalent 1000 livres-force.

Le logiciel VAMPIRE analyse le comportement de véhicules sur rail individuels et l'interaction véhicule-voie. La simulation a utilisé :

- le profil mesuré du rail au point milliaire 18,699;
- le profil mesuré des roues du 4e essieu (essieu de tête) du wagon NAHX 35909;
- un angle de balancement d'attelage maximal estimé de 9°, en prenant en considération l'usure des composants de traction et le pylône de choc usé du bout A du wagon NAHX 35909;
- les paramètres de rigidité de la voie, qui ont été estimés pour tenir compte du passage à niveau asphalté et des segments où il y avait des remontées de boue;
- les états géométriques de la voie que l'on a présumés détériorés en raison des précipitations exceptionnellement fortes durant les 3 mois qui ont suivi la plus récente inspection de l'état géométrique de la voie. On a supposé que les états ne dépassaient pas le niveau prioritaire, soit toujours en deçà des limites du RSV;
- l'usure mesurée des patins stabilisateurs du bogie et le soulèvement qu'elle a généré;
- les mesures de dégagement des glissoirs à bloc;
- la force en-train de compression calculée par le logiciel TEDS.

La simulation VAMPIRE a permis de déterminer qu'une combinaison de facteurs en jeu dans l'événement à l'étude aurait généré un rapport L/V de roue élevé de 0,82 et des forces latérales élevées transmises à la roue R4 du wagon NAHX 35909 lorsqu'il se trouvait au point milliaire 18,70, juste à l'ouest du passage à niveau de la rue Carroll Est, situé au point milliaire 18,69. L'analyse de la dynamique voie-train a permis de déterminer que le premier chevauchement du wagon NAHX 35909 dans la courbe a probablement été causé par une combinaison des 6 états suivants :

1. **Soulèvement du patin stabilisateur.** Le soulèvement du patin L3 du wagon NAHX 35909 avait atteint la limite de 1 $^{13}/_{16}$ de pouce stipulée dans la règle 46 de l'AAR. Cet état a réduit les forces d'alignement et d'amortissement du bogie, ce qui a contribué au rapport L/V élevé. Il a été calculé qu'en comparaison du rapport L/V calculé de 0,82 dans l'événement à l'étude, sans soulèvement des patins, le rapport L/V maximal au point de déraillement initial était de 0,25. Le soulèvement des patins a été le plus déterminant des 6 états qui ont contribué à cet événement.
2. **Contact roue-rail.** En comparaison du rapport L/V calculé de 0,82 dans l'événement à l'étude, avec un contact roue-rail optimal, on a calculé que le rapport L/V maximal au point de déraillement initial était de 0,33. L'effet du contact roue-rail a également été un facteur contributif déterminant dans cet événement (figure 13 et figure 14).

Figure 13. Aires de contact roue-rail (indiquées par des ovales rouges) entre l'essieu 4 et le rail au point milliaire 18,616

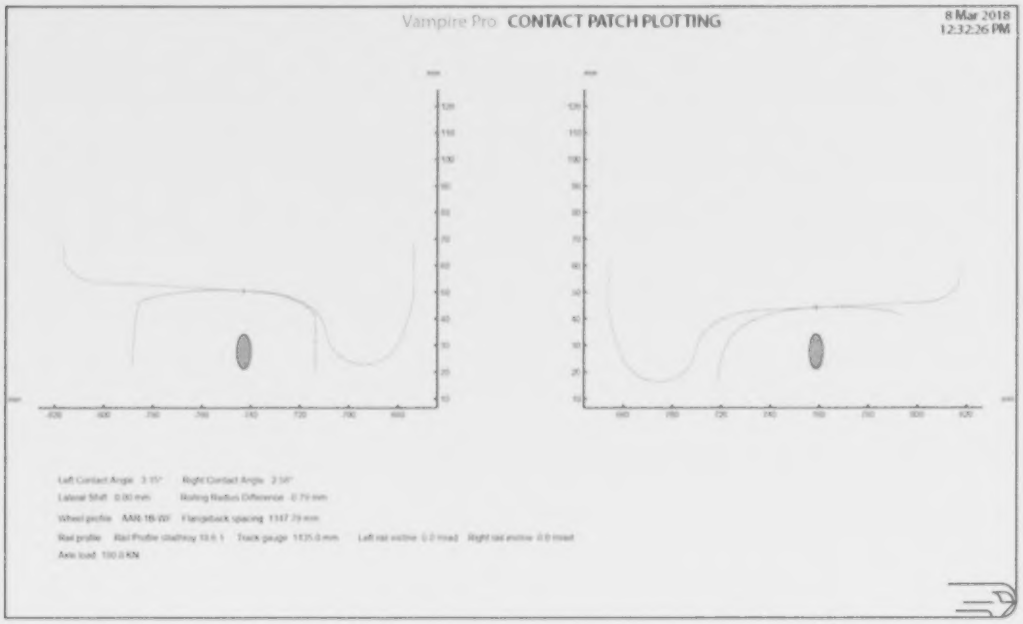
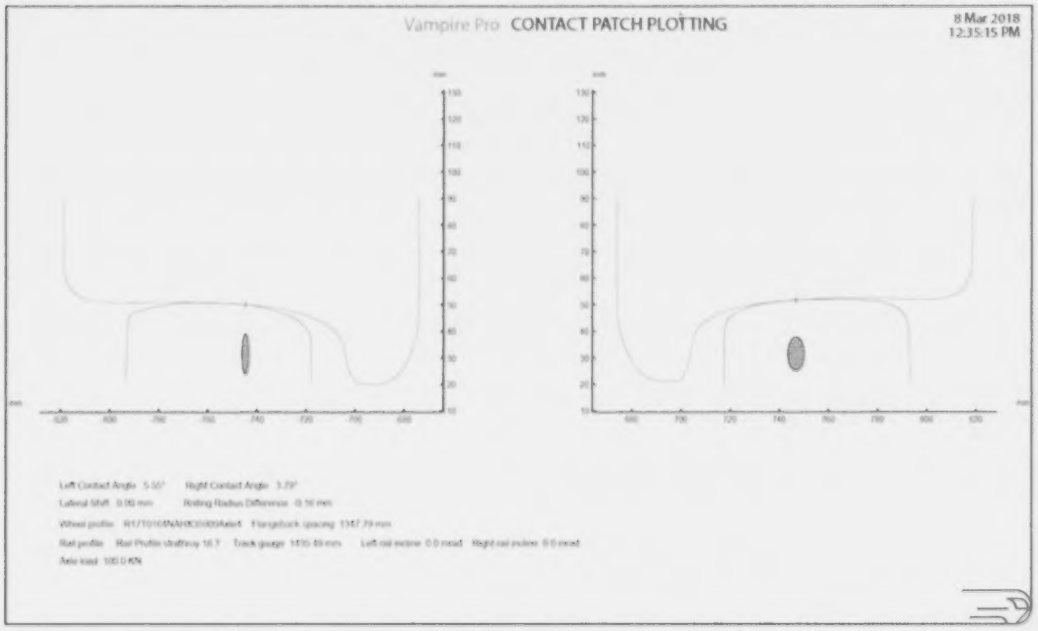


Figure 14. Aires de contact roue-rail (indiquées par des ovales rouges) entre l'essieu 4 et le rail au point milliaire 18,70



3. **Angle de balancement de l'attelage prononcé à cause du pylône de choc usé et de la plaque d'appui fissurée (côté droit), soumis à une force de compression en-train modérée.** On a simulé un angle de balancement d'attelage de 1° que l'on a comparé à l'événement à l'étude en utilisant un angle de balancement estimé de 9°. En

comparaison du rapport L/V calculé de 0,82 dans l'événement à l'étude, avec un angle de balancement d'attelage de 1°, on a calculé que le rapport L/V maximal au point de déraillement initial était de 0,36. L'effet de l'angularité de l'attelage soumis à des forces de compression a également été un facteur contributif déterminant dans l'événement à l'étude. La position du wagon et de l'attelage de bout A soumis à une force de compression en-train modérée a généré un angle de balancement d'attelage plus prononcé que la normale, qui s'est transformé en force latérale qui a fait augmenter le rapport L/V au point de déraillement initial.

4. **Rigidité inégale de la voie.** Le point de déraillement initial se trouvait à proximité d'un passage à niveau asphalté et de surfaces meubles où il y avait des remontées de boue, du côté du rail bas (sud). Pour déterminer l'effet de la rigidité inégale de la voie, on a simulé un cas hypothétique avec une voie de rigidité uniforme; on l'a ensuite comparé à la rigidité inégale dans l'événement à l'étude. En comparaison du rapport L/V calculé de 0,82 dans l'événement à l'étude, avec une rigidité de voie uniforme, on a calculé que le rapport L/V maximal au point de déraillement initial était de 0,43. La répartition inégale de la rigidité de la voie a contribué au rapport L/V élevé calculé au point de déraillement initial.
5. **États géométriques de la voie.** Les remontées de boue et le ballast contaminé au point de déraillement initial laissent croire que l'état géométrique de la voie dans les environs se détériorait.

   On a simulé un cas hypothétique du wagon en cause qui négocie une courbe idéale pour le comparer au cas à l'étude. Les forces dynamiques et les rapports L/V simulés pour une courbe idéale seraient très faibles. Dans de telles conditions, l'entrée de la courbe de raccordement et la rigidité inégale de la voie au passage à niveau entraîneraient des réactions dynamiques, qui s'atténueraient très rapidement, toutefois. Cela indique que le wagon n'était pas en mode de galop lorsqu'il se trouvait dans la courbe.

   On a effectué une autre simulation à partir des résultats du contrôle de l'état géométrique de la voie du 12 avril 2017. Cette simulation se fondait sur l'hypothèse qu'il n'y avait eu aucune dégradation additionnelle de l'infrastructure de la voie au cours des 3 mois après l'évaluation. Selon cette hypothèse, on a calculé que le rapport L/V maximal au point de déraillement initial aurait été de 0,53.

   Étant donné les précipitations exceptionnellement fortes au cours des 3 mois qui ont suivi le contrôle de l'état géométrique, il est probable que les états de surface des rails et de nivellement transversal au point de déraillement initial se sont détériorés davantage et qu'ils ont contribué au rapport L/V de 0,82 calculé dans le cas à l'étude.
6. **Dégagements excessifs des glissoirs.** Les dégagements des glissoirs du côté droit du wagon NAHX 35909 dépassaient la limite de réforme de $^{5}/_{16}$ de pouce stipulée au règlement 62 de l'AAR. Cet état a réduit la capacité du wagon de limiter le mouvement dynamique de ballant et de roulis et a fait augmenter le rapport L/V. Comparativement au rapport L/V calculé de 0,82 dans l'événement à l'étude, avec des dégagements des glissoirs de $^{5}/_{16}$ de pouce, soit la limite stipulée par l'AAR, on a calculé que le rapport L/V maximal au point de déraillement initial était de 0,79.

Étant donné les multiples états en jeu dans le déraillement, un dégagement des glissoirs marginal aurait tout de même occasionné un risque de rapport L/V élevé.

Ces simulations ont montré qu'en l'absence de l'un ou l'autre des 6 états analysés, le rapport L/V demeurerait en deçà du niveau auquel ces déraillements se produisent habituellement.

1.12 Rapports de laboratoire du BST

Le BST a rédigé le rapport de laboratoire qui suit en appui à la présente enquête :

- LP177/2017 – Track/Train Dynamics Analysis [analyse de la dynamique voie-train]

2.0 *Analyse*

La conduite du train n'a pas contribué à l'événement à l'étude. L'analyse portera principalement sur l'état de la voie et du matériel roulant, l'inspection du matériel roulant, et les exigences d'enregistrement de voies de données par le consignateur d'événements de locomotive (CEL).

2.1 *L'accident*

Une marque de boudin de roue longue de 25 pieds observée sur la table de roulement du champignon du rail nord, juste à l'ouest du passage à niveau de la rue Carroll Est (point milliaire 18,69), indiquait le point de déraillement (PD) initial. La marque laissée par le boudin de roue commençait du côté intérieur du rail et se poursuivait en diagonale vers l'ouest sur le champignon de rail, avant de passer du côté extérieur du rail, ce qui indique un déraillement amorcé par un chevauchement.

Comparativement à celles des autres wagons déraillés, les tables de roulement des roues du 109e wagon (NAHX 35909) étaient les plus endommagées, ce qui indique que ce wagon a été le premier à dérailler. Le bout A de ce wagon était orienté vers l'avant, et les roues du côté droit ont passé sur le rail nord, avec la roue R4 en tête. Compte tenu de ces facteurs, le déraillement s'est amorcé lorsque la roue R4 du wagon NAHX 35909 a chevauché le rail haut (nord) de la courbe juste à l'ouest du passage à niveau de la rue Carroll Est, au point milliaire 18,69 de la subdivision de Strathroy.

Le wagon NAHX 35909 et l'avant du 110e wagon (PROX 76051) ont poursuivi leur course vers l'ouest hors des rails sur une distance de 1,15 mille jusqu'à ce qu'ils percutent la surface bétonnée du passage à niveau de la rue Caradoc Sud, au point milliaire 19,84. Le wagon NAHX 35909 est alors remonté sur les rails, mais le wagon PROX 76051 est demeuré déraillé. Lorsqu'il a atteint le quai de la gare VIA Rail Canada Inc., l'arrière (bout B) du wagon NAHX 35909 s'est dételé du wagon PROX 76051. Les 13 wagons derrière le wagon NAHX 35909 ont ensuite déraillé avant de s'immobiliser près du passage à niveau de la rue Metcalfe Ouest (point milliaire 20,04), en plein centre de Strathroy (Ontario).

2.2 *État des wagons et de l'infrastructure de la voie*

On s'est servi de données relatives aux wagons et à la voie pour analyser la dynamique du train et calculer le rapport entre les forces latérales et verticales (L/V) de manière à déterminer le potentiel de déraillement. Il est reconnu qu'un rapport L/V compris entre 0,80 et 0,90 de durée suffisante peut produire une montée du boudin sur le rail. Pour le chevauchement initial de la roue R4 du wagon NAHX 35909 sur le rail haut de la courbe, on a calculé un rapport L/V de 0,82, indication d'un état de déraillement probable. Les états suivants ont contribué à l'événement à l'étude.

2.2.1 *Wagon-trémie couvert NAHX 35909*

Le dégagement des glissoirs du côté droit des deux bogies du wagon NAHX 35909 dépassait la limite de réforme de l'Association of American Railroads (AAR) pour laquelle des réparations sont exigées, mais satisfaisait aux exigences du *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises* approuvé par Transports Canada (TC). Les dégagements des glissoirs excessifs du côté droit ont réduit la capacité du wagon NAHX 35909 de limiter le mouvement dynamique de ballant et de roulis et ont contribué à l'augmentation du rapport L/V.

Le soulèvement des patins stabilisateurs à la position L3 du bout A était à la limite du seuil établi par l'AAR et ne constituait pas une limite de réforme, d'après le *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*, qui ne se prononce pas sur ce point. Le soulèvement des patins stabilisateurs à la position L3 du bout A du wagon NAHX 35909 a réduit les forces d'alignement et d'amortissement du bogie et a contribué au rapport L/V élevé.

La soudure du côté droit qui fixe le support d'attelage du bout A était fissurée, ce qui laisse croire à une force supérieure à la normale exercée par le bras d'attelage sur le pylône de choc du côté droit. Sur le bout A du wagon NAHX 35909, le pylône de choc vertical du côté droit était usé; cette usure a permis un angle de balancement d'attelage supérieur à la limite nominale de 7° établie pour les attelages de type E60.

2.2.2 *Force de compression*

Lorsqu'un train est en force de compression dans une courbe, l'angle de balancement d'un attelage peut atteindre son maximum, avec les bras d'attelage qui poussent contre le côté du pylône de choc fixé à l'extrémité de la longrine centrale du wagon. La force de compression engendre des forces longitudinales qui se transforment en une force latérale aux crapaudines du véhicule qui est ensuite transmise aux boudins de roue sur le rail haut d'une courbe.

L'analyse de la dynamique du train a permis de déterminer qu'une force de compression de 40 kips engendrée par le tonnage remorqué a agi sur le wagon NAHX 35909 au PD. Généralement dans le secteur, on considère que la limite supérieure sécuritaire de la force de compression ou de traction en-train instantanée est de 100 000 livres (100 kips). La force de compression utilisée dans la modélisation était nettement en deçà des pratiques d'exploitation du secteur. Toutefois, la compression du tonnage remorqué a imparti au wagon une petite poussée au moment précis où celui-ci était vulnérable.

Au moment où le wagon NAHX 35909 passait sur la courbe avec l'attelage du bout A à son angle de balancement latéral maximal, il a été soumis à une force de compression en-train modérée qui a transformé une force longitudinale en force latérale qui a fait augmenter le rapport L/V au PD initial.

2.2.3 *Profils roue-rail*

En comparaison du rapport L/V calculé de 0,82 dans l'événement à l'étude, avec un contact roue-rail optimal, on a calculé que le rapport L/V maximal au PD initial était de 0,33. L'effet du contact roue-rail a été un autre facteur déterminant qui a contribué au rapport L/V élevé et au chevauchement subséquent. Les profils roue-rail au PD initial ont engendré des états de contact qui ont également contribué au chevauchement.

2.2.4 *Infrastructure de la voie*

Juste à l'est du PD, des zones de fortes remontées de boue sur le rail sud avaient diminué la rigidité de la voie, phénomène qui peut réduire la force verticale sur les roues accouplées qui passent sur le rail nord. Non seulement les fortes remontées de boue ont entraîné une répartition inégale de la rigidité de la voie entre la surface du passage à niveau et la portion de voie à l'ouest, mais elles ont aussi eu un effet négatif sur la surface des rails et le nivellement transversal. L'inspection de l'état géométrique de la voie du 12 avril 2017 a révélé des états de surface des rails et de nivellement transversal émergents juste en amont du PD. Toutefois, puisqu'ils étaient en deçà des critères établis dans le Règlement sur la sécurité de la voie (RSV) approuvé par TC, ces états n'étaient pas assez graves pour justifier des mesures correctives immédiates. Or, étant donné les précipitations exceptionnellement fortes au cours des 3 mois qui ont précédé l'accident, il est probable que les états de surface des rails et de nivellement transversal émergents au PD initial se sont détériorés davantage et qu'ils ont contribué au rapport L/V élevé et au chevauchement subséquent associé à la roue R4 du wagon NAHX 35909.

Six états étaient en jeux lors du chevauchement initial du wagon NAHX 35909 sur le rail haut de la courbe; ensemble, ces états ont contribué au rapport L/V calculé de 0,82, une indication d'un état de déraillement. L'analyse de la dynamique du train a établi qu'une combinaison de facteurs – les dégagements des glissoirs excessifs du côté droit du wagon, le soulèvement des patins stabilisateurs à la position L3, l'angle de balancement d'attelage prononcé au bout A attribuable à l'usure de composants et aux forces de compression, les états de contact roue-rail, la rigidité inégale de la voie et les états géométriques de la voie – a engendré des conditions favorables à un déraillement par chevauchement, avec un rapport L/V de roue calculé élevé de 0,82. L'analyse de la dynamique du train a permis de déterminer qu'en l'absence de l'un ou l'autre des 6 états analysés, le rapport L/V demeurerait en deçà du niveau auquel ces déraillements se produisent habituellement.

2.3 *Serrage d'urgence des freins à air*

Après que les locomotives eurent traversé Strathroy, le mécanicien de locomotive a entendu l'alarme de l'unité d'entrée et d'affichage (UEA). L'alarme sonne soit en cas de perte de pression dans la conduite générale à la queue du train, soit en cas d'interruption de la communication entre l'UEA et l'unité de détection et de freinage (UDF), située sur le wagon de queue du train. Croyant à une communication interrompue, le mécanicien de locomotive a tenté de rétablir la communication avec l'UDF; c'est alors qu'il a constaté que la pression de la conduite générale était de 0 lb/po^2. Quelques secondes plus tard, un détecteur de pièces

traînantes (DED), situé au point milliaire 19,51 juste à l'ouest du passage à niveau de la rue Queen (point milliaire 19,50), a transmis une alarme par radio à l'équipe de train. Cette alarme signalait la détection de pièces traînantes sur les 4 essieux du 109e wagon (NAHX 35909) et les 2 premiers essieux (avant) du 110e wagon (PROX 76051).

Le wagon NAHX 35909 a parcouru 1,15 mille entre le passage à niveau de la rue Carroll Est, où il a déraillé, et le passage à niveau de la rue Caradoc Sud, où il est remonté sur les rails. Alors que le wagon circulait vers l'ouest hors des rails, le bogie du bout A (avant) était désaxé au point où la roue R3 a partiellement sectionné la conduite générale par brûlure/meulage, ce qui a provoqué une fuite d'air.

Le train s'est ensuite séparé entre le 109e wagon (NAHX 35909) et le 110e wagon (PROX 76051). Le 109e wagon est demeuré sur les rails et attelé à la tête du train, mais les wagons 110 à 122 qui suivaient ont déraillé. Malgré le sectionnement partiel de la conduite générale par la roue R3 du wagon NAHX 35909 (109e wagon) et la séparation de la conduite générale entre les 109e et 110e wagons, la conduite générale n'a généré aucun freinage d'urgence, et le mécanicien de locomotive a réussi un arrêt dirigé du train, avec les 109 wagons restants.

Sans pression d'air de la conduite générale consignée par l'unité en queue de train, on n'a pu déterminer exactement s'il y a eu serrage d'urgence des freins en queue de train ni quand la pression d'air a commencé à chuter dans la conduite générale. Toutefois, lorsque le boudin de la roue R3 du wagon NAHX 35909 a partiellement sectionné la conduite générale par brûlure/meulage, le diamètre de la conduite a diminué, et le contact avec le boudin de roue a partiellement scellé la conduite générale. La fuite d'air était si lente qu'elle n'a déclenché aucun freinage d'urgence provenant de la conduite générale. Comme le train s'est séparé derrière la conduite générale partiellement sectionnée, tout freinage d'urgence provenant de la conduite générale qui aurait pu se déclencher sur les wagons de queue n'aurait pu atteindre la tête du train.

2.4 *Éléments de donnée requis pour les consignateurs d'événements de locomotive*

Pour reconstituer fidèlement l'utilisation d'un système de freinage pneumatique de train, il est essentiel d'avoir des indications de pression provenant de la tête du train ainsi que de la queue du train. Or, dans l'événement à l'étude, la locomotive CN 5793 (construite en 1999) de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (CN) n'était pas munie d'un CEL qui consigne la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train, et la réglementation ne l'exige pas.

TC a reconnu qu'il était important de consigner ce type de donnée et a approuvé le *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer* révisé en 2007. D'après ce règlement révisé, toutes les nouvelles locomotives construites après le 1er janvier 2007 et livrées après le 1er janvier 2008 doivent comprendre un CEL qui consigne 26 éléments de donnée précis indiqués au paragraphe 12e) du règlement; la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train fait partie de ces éléments. Toutefois, le règlement

révisé comprenait également une clause d'antériorité qui autorisait l'exploitation de locomotives construites avant le 1er janvier 2007 et munies d'un CEL qui ne consigne que les 8 éléments de donnée stipulés au paragraphe 12.1 du règlement; ces éléments ne comprennent pas la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train. Par conséquent, plusieurs locomotives construites avant 2007 et en service au Canada ne consignent toujours pas la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train, et la réglementation n'exige pas qu'elles le fassent.

Chaque compagnie de chemin de fer qui commande de nouvelles locomotives doit préciser le type de CEL dont celles-ci doivent être munies et les éléments de données à consigner. Même si les compagnies de chemin de fer sont tenues de consigner les éléments de donnée minimaux stipulés par le *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer*, elles ne sont pas limitées par ce règlement et peuvent spécifier la consignation d'éléments additionnels. Par exemple, le Chemin de fer Canadien Pacifique exige que la plupart de ses locomotives de grande ligne consignent la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train. Pour sa part, avant 2007, le CN exigeait que ses CEL ne consignent que les 8 éléments de donnée stipulés par le *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer* en vigueur à l'époque. Comme la plupart des locomotives haute puissance de grande ligne qu'exploite le CN à l'heure actuelle ont été construites avant 2007, environ 58 % de leurs CEL ne consignent pas la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train.

Dans l'événement à l'étude, comme le CEL n'a pas consigné la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train, il a été impossible de déterminer le moment précis où la pression d'air a commencé à chuter tout comme le débit de la fuite. Par conséquent, il manquait un renseignement essentiel pour permettre de mieux comprendre la séquence d'événements du déraillement. Si les locomotives de tête de grande ligne ne sont pas munies de CEL qui enregistrent la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train, des renseignements cruciaux sur la séquence d'événements qui ont mené à l'accident ne seront pas consignés. Cela augmente le risque que le secteur ferroviaire et les enquêteurs soient privés de renseignements utiles qui pourraient améliorer la sécurité.

2.5 *Soulèvement du patin stabilisateur*

La face verticale du patin stabilisateur, la face verticale de la colonne de traverse danseuse et la face inclinée des frottoirs de traverse pivot assurent de concert la stabilité du bogie du wagon. Lorsque l'usure des surfaces de contact de l'un ou l'autre de ces composants atteint la limite de réforme, il se produit une perte dans l'alignement ou la suspension du bogie. Une telle perte peut réduire la capacité du bogie d'absorber des états de profil de la voie et, dans certaines conditions, entraîner un chevauchement ou un soulèvement de roue.

Le soulèvement du patin stabilisateur est de $^{15}/_{16}$ de pouce pour les bogies de type ASF avec contrôle du roulement à l'état neuf. Selon la règle 46 du *Field Manual of the AAR Interchange Rules* (règles d'échange de l'AAR), un soulèvement des patins moyen supérieur à 1 $^{13}/_{16}$ de pouce sur un côté d'un bogie avec contrôle du roulement constitue une limite de réforme lorsque le wagon se trouve sur une voie de réparation. Même si l'usure d'un patin

stabilisateur ou d'un frottoir de traverse pivot individuel, ou encore d'une colonne de traverse danseuse individuelle, peut ne pas constituer une limite de réforme, l'usure totale de la face verticale du patin stabilisateur, de la face verticale de la traverse danseuse et de la face inclinée du frottoir de traverse pivot dans 1 endroit pourrait entraîner un soulèvement des patins qui constitue une limite de réforme, d'après les règles d'échange de l'AAR. On considère le soulèvement des patins stabilisateurs comme une indication qu'un bogie perd de sa stabilité et que son état peut se dégrader.

Durant le démontage après événement du bogie de bout A du wagon NAHX 35909, on a mesuré un soulèvement de 1 $^{13}/_{16}$ de pouce des patins L3, soit la valeur limite stipulée par la règle 46 des règles d'échange de l'AAR. De plus, l'analyse de la dynamique voie-train a permis d'établir que le soulèvement des patins stabilisateurs à la position L3 était l'état le plus déterminant dans cet événement, car il a réduit les forces d'alignement et d'amortissement du bogie et a contribué au rapport L/V élevé.

Le CN inspecte les wagons en service conformément au *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*. Ce règlement ne prescrit aucune limite d'usure mesurable relative au soulèvement des patins. Il exige uniquement le remplacement des patins stabilisateurs lorsqu'ils sont usés au-delà de l'indicateur d'usure de la face verticale. Il ne stipule aucune limite mesurée sécuritaire pour le soulèvement des patins stabilisateurs causé par l'usure totale de la face verticale du patin stabilisateur, de la face verticale de la traverse danseuse et de la face inclinée du frottoir de traverse pivot. En l'absence de critères d'inspection mesurés et précis pour le soulèvement des patins stabilisateurs qui permettraient de cerner les bogies aux composants de suspension excessivement usés, des bogies potentiellement instables pourraient demeurer en service et ainsi augmenter le risque de déraillement.

2.6 *Dégagement des glissoirs*

Une inspection après l'événement à l'étude des bogies du wagon NAHX 35909 a permis de confirmer que les glissoirs du côté droit satisfaisaient aux exigences du *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*, qui portent sur la somme à l'un des bouts d'un wagon et la somme aux bouts diagonalement opposés de wagons. Toutefois, les glissoirs ne satisfaisaient pas aux exigences établies par la règle 62 des règles d'échange de l'AAR concernant la réparation des dégagements des glissoirs.

La simulation VAMPIRE réalisée par le BST a montré que, si les dégagements des glissoirs du côté droit avaient atteint la limite de $^{5}/_{16}$ de pouce permise par les règles d'échange de l'AAR, le rapport L/V de roue maximal au PD initial aurait diminué pour passer à 0,79, une indication d'un potentiel de déraillement.

2.7 *Liste de vérification de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada*

Le CN a dressé une liste de vérification intitulée « DYC (Did You Check) Requirements » qui énumère les principaux composants et les principales structures des wagons à inspecter

lorsqu'un wagon se trouve sur une voie d'atelier ou de réparation, sur une voie de changement de roue, sur des voies de réparation rapide et de grande ligne ou du réseau, et sur les chemins de roulement intermodaux et voies de triage. Aucune mesure n'est consignée, mais les inspecteurs en mécanique doivent apposer leurs initiales à côté de chaque élément de la liste pour indiquer qu'ils l'ont bien vérifié. L'inspection des dégagements de glissoirs doit être faite lorsque les wagons se trouvent sur les voies d'atelier et de réparation. Le soulèvement des patins stabilisateurs ne figurait sur aucune liste de vérification.

Le 6 avril 2017, le wagon NAHX 35909 a été envoyé à la voie de réparation du triage MacMillan du CN, situé à Vaughan (Ontario), pour subir des réparations au bout A. Un inspecteur en mécanique a rempli une liste de vérification « DYC Requirements » du CN et a apposé ses initiales pour indiquer que les glissoirs avaient été vérifiés, mais aucune mesure n'a été consignée.

Le wagon NAHX 35909 a été soumis à une inspection détaillée le 15 août 2017, au triage MacMillan du CN. Au cours de cette inspection, on a relevé à la position L3 sur le bogie du bout A un soulèvement du patin stabilisateur qui était à la limite de la règle 46 des règles d'échange de l'AAR, et un dégagement des glissoirs du côté droit qui constituait une limite de réforme d'après la règle 62 de l'AAR. Toutefois, ni l'un ni l'autre de ces états ne constituait une limite de réforme d'après le *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*.

Le CN réalise ses inspections conformément au *Règlement concernant l'inspection et la sécurité des wagons de marchandises*. Malgré plusieurs inspections autorisées du wagon, menées du 10 avril 2017 au 18 juillet 2017 par des inspecteurs de wagons autorisés, aucun de ces états n'a été signalé, et la réglementation en vigueur ne l'exigeait pas.

Durant les travaux de réparation des wagons, on ne consigne aucune mesure sur la liste de vérification « DYC Requirements ». Par conséquent, il se peut que ces états aient été présents durant les réparations que le CN a faites sur la voie de réparation, le 6 avril 2017, mais qu'ils n'aient pas été corrigés, puisque le règlement ne l'exigeait pas. Si les mesures de soulèvement des patins stabilisateurs et de dégagement des glissoirs ne sont pas consignées, il est impossible par la suite de confirmer l'état des composants au moment des réparations.

3.0 *Faits établis*

3.1 *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. Le déraillement s'est amorcé lorsque la roue R4 du wagon NAHX 35909 a chevauché le rail haut (nord) de la courbe juste à l'ouest du passage à niveau de la rue Carroll Est, au point milliaire 18,69 de la subdivision de Strathroy.

2. Le wagon NAHX 35909 et l'avant du 110e wagon (PROX 76051) ont poursuivi leur course vers l'ouest hors des rails sur une distance de 1,15 mille jusqu'à ce qu'ils percutent la surface bétonnée du passage à niveau de la rue Caradoc Sud, au point milliaire 19,84. Le wagon NAHX 35909 est alors remonté sur les rails, mais le wagon PROX 76051 est demeuré déraillé.

3. Lorsqu'il a atteint le quai de la gare VIA Rail Canada Inc., l'arrière (bout B) du wagon NAHX 35909 s'est dételé du wagon PROX 76051. Les 13 wagons derrière le wagon NAHX 35909 ont ensuite déraillé avant de s'immobiliser près du passage à niveau de la rue Metcalfe Ouest (point milliaire 20,04), en plein centre de Strathroy (Ontario).

4. Les dégagements des glissoirs excessifs du côté droit ont réduit la capacité du wagon NAHX 35909 de limiter le mouvement dynamique de ballant et de roulis et ont contribué à l'augmentation du rapport de forces latérales et verticales.

5. Le soulèvement des patins stabilisateurs à la position L3 du bout A du wagon NAHX 35909 a réduit les forces d'alignement et d'amortissement du bogie et a contribué au rapport de forces latérales et verticales élevé.

6. Sur le bout A du wagon NAHX 35909, le pylône de choc vertical du côté droit était usé; cette usure a permis un angle de balancement d'attelage supérieur à la limite nominale de 7° établie pour les attelages de type E60.

7. Au moment où le wagon NAHX 35909 passait sur la courbe avec l'attelage du bout A à son angle de balancement latéral maximal, il a été soumis à une force de compression en-train modérée qui a transformé une force longitudinale en force latérale qui a fait augmenter le rapport de forces latérales et verticales au point de déraillement initial.

8. Les profils roue-rail au point de déraillement initial ont engendré des états de contact qui ont eux aussi contribué au chevauchement.

9. Étant donné les précipitations exceptionnellement fortes au cours des 3 mois qui ont précédé l'accident, il est probable que les états de surface des rails et de nivellement transversal émergents au point de déraillement initial se sont détériorés davantage et qu'ils ont contribué au rapport de forces latérales et verticales élevé et au chevauchement subséquent associé à la roue R4 du wagon NAHX 35909.

10. Une combinaison de facteurs – les dégagements des glissoirs excessifs du côté droit du wagon, le soulèvement des patins stabilisateurs à la position L3, l'angle de balancement d'attelage prononcé au bout A attribuable à l'usure de composants et aux forces de compression, les états de contact roue-rail, la rigidité inégale de la voie et les états géométriques de la voie – a engendré des conditions favorables à un déraillement par chevauchement, avec un rapport de forces latérales et verticales de roue calculé élevé de 0,82.

3.2 *Faits établis quant aux risques*

1. Si les locomotives de tête de grande ligne ne sont pas munies de consignateurs d'événements de locomotive qui enregistrent la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train, des renseignements cruciaux sur la séquence d'événements qui ont mené à l'accident ne seront pas consignés. Cela augmente le risque que le secteur ferroviaire et les enquêteurs soient privés de renseignements utiles qui pourraient améliorer la sécurité.

2. En l'absence de critères d'inspection mesurés et précis pour le soulèvement des patins stabilisateurs qui permettraient de cerner les bogies aux composants de suspension excessivement usés, des bogies potentiellement instables pourraient demeurer en service et ainsi augmenter le risque de déraillement.

3.3 *Autres faits établis*

1. L'analyse de la dynamique du train a permis de déterminer qu'en l'absence de l'un ou l'autre des 6 états analysés, le rapport de forces latérales et verticales demeurerait en deçà du niveau auquel ces déraillements se produisent habituellement.

2. Lorsque le boudin de la roue R3 du wagon NAHX 35909 a partiellement sectionné la conduite générale par brûlure/meulage, le diamètre de la conduite a diminué, et le contact avec le boudin de roue a partiellement scellé la conduite générale. La fuite d'air était si lente qu'elle n'a déclenché aucun freinage d'urgence provenant de la conduite générale.

3. Comme le train s'est séparé derrière la conduite générale partiellement sectionnée, tout freinage d'urgence provenant de la conduite générale qui aurait pu se déclencher sur les wagons de queue n'aurait pu atteindre la tête du train.

4. Si les mesures de soulèvement des patins stabilisateurs et de dégagement des glissoirs ne sont pas consignées, il est impossible par la suite de confirmer l'état des composants au moment des réparations.

4.0 Mesures de sécurité

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Bureau de la sécurité des transports du Canada

Le 10 novembre 2017, le BST a émis l'Avis de sécurité ferroviaire (ASF) 13/17 à l'intention de Transports Canada (TC) au sujet de la consignation de la pression d'air de la conduite générale par l'unité en queue de train. Cet ASF indiquait que la locomotive de tête (CN 5793), construite en janvier 1999, n'était pas munie d'un consignateur d'événements de locomotive (CEL) qui consigne la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train, et le *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer* ne l'exige pas. Si l'on ne connaît pas la pression dans la conduite générale de l'unité en queue de train, il pourrait être impossible de confirmer s'il y a eu serrage d'urgence des freins à air ou encore en quoi cela aurait pu mener à un accident, le cas échéant. Toujours d'après l'ASF, étant donné ces circonstances, il serait souhaitable que TC examine et actualise le *Règlement relatif à l'inspection et à la sécurité des locomotives de chemin de fer* pour s'assurer que toutes les locomotives, peu importe leur âge, sont munies d'un CEL qui enregistre la pression d'air dans la conduite générale en queue de train.

4.1.2 Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada

Le service de la Mécanique au triage MacMillan de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada a acquis des outils et de l'équipement pour réparer des bogies stabilisés. Durant les séances d'information sur les travaux quotidiennes, on discute avec le personnel mécanique de l'importance de la hauteur d'attelage, du dégagement des glissoirs et des composants stabilisateurs de contrôle du roulement dans le cadre d'inspections de sécurité.

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 29 août 2018. Le rapport a été officiellement publié le 9 octobre 2018.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les problèmes de sécurité dans les transports qui posent les plus grands risques pour les Canadiens. Dans chaque cas, le BST a constaté que les mesures prises à ce jour sont inadéquates, et que le secteur et les organismes de réglementation doivent adopter d'autres mesures concrètes pour éliminer ces risques.